URUGUAY

ADMINISTRACION NACIONAL
DE
USINAS Y TRASMISIONES ELECTRICAS

RENOVACIÓN DE LA PRESA Y CENTRAL HIDROELECTRICA

Dr GABRIEL TERRA

Etapa 1
DIAGNOSTICO DE LAS INSTALACIONES

Tomo 3.2

EQUIPOS DE GENERACION
EQUIPOS ELECTRICOS

ELECTRICITE DE FRANCE

INTERNATIONAL

68, rue du Faubourg Saint-Honore
75008 PARIS
Tel. 764 22 22
Telex EDF AE 660 434 F

Junio 1984

TOMO III

EQUIPO DE GENERACION ELECTRICA

EQUIPO ELECTRICO

SUMARIO

1. GENERADORES: COMPROBACIONES EFECTUADAS E INTERVENCIONES A CONSIDERAR PARA OBTENER UNA CORRECTA FIABILIDAD

1.1 Características principales

1.2 Inspección del generador nº 4: comprobaciones

1.2.1 Circuito magnético del estator

1.2.1.1 Diseño

1.2.1.2 Estado

1.2.2 Devanado del estator

1.2.2.1 Diseño

1.2.2.2 Estado

1.2.3 Núcleos polares del rotor

1.2.3.1 Diseño

1.2.3.2 Estado

1.2.4 Bobinas polares del rotor

1.2.4.1 Diseño

1.2.4.2 Estado

1.2.5 Resumen de los puntos débiles del generador nº 4

1.3 Peritaje de un devanado de estator

1.3.1 Diseño

1.3.2 Comprobaciones efectuadas

1.4 Examen del informe de pruebas efectuadas en una porción de devanado del generador nº 3

1.5 Conclusión del informe de las pruebas efectuadas por la D.T.G.

1.6 Acciones que cabe emprender

1.6.1 Acción inmediata

1.6.2 Acciones a proyectar

1.6.2.1 Estator

1.6.2.2 Rotor

2. GENERADORES: EXAMEN DE LAS POSIBILIDADES DE SOBREPOTENCIA

2.1 Pruebas de calentamiento

2.1.1 Prueba de calentamiento en condiciones nominales

2.1.1 Prueba de calentamiento en sobrecarga

2.2 Disposiciones a considerar para obtener la sobrepotencia

2.2.1 Estator

2.2.2 Rotor

3. TRANSFORMADORES

3.1 Características

3.2 Diseño

3.3 Comprobaciones

3.3.1 Inspección

3.3.2 Análisis cromatográfico de los gases disueltos en el aceite

3.4 Acciones a emprender

1. GENERADORES: COMPROBACIONES EFECTUADAS E INTERVENCIONES A CONSIDERAR PARA OBTENER UNA CORRECTA FIABILIDAD

1.1 Características principales

Constructor: General Electric Co.

Año de puesta en funcionamiento: grupo 1: 1947

grupo 2: 1945

grupo 3: 1948

grupo 4: 1948

. Características nominales:

S_n = 32.000 kVA

$\cos \varphi$ = 0,95

U_n = 13,8 kV

I_n = 1.340 A

f = 50 Hz

N_n = 125 r.p.m

En estas condiciones el constructor garantiza un calentamiento máximo de 60ºC con respecto a un aire fresco a una temperatura de 40ºC

. Características en sobrepotencia:

S_n = 36.800 kVA

En esas condiciones, el constructor garantiza un calentamiento máximo de 80ºC con respecto a un aire fresco a una temperatura de 40ºc.

En abril de 1959, la usina quedo inundada por una crecida sin precedentes. Los devanados de los estatores de los generadores se han sustituido por devanados idénticos.

1.2 Inspección del generador nº 4: comprobaciones

El generador nº 4 se ha sometido a inspección estando el rotor in situ, tras desarmado de un polo del rotor. Se ha efectuado una rotación del rotor equivalente de una vuelta para observar el conjunto de la máquina.

1.2.1 Circuito magnético del estator

1.2.1.1 Diseño

El diseño del circuito magnético parece correcto. Las funciones de "guiado" y "apriete" se encuentran separadas y las chavetas llevan a cabo el guiado y los tirantes, el apriete. Este diseño permite utilizar el alargamiento de toda la longitud del tirante para obtener el apriete del circuito magnético.

La transmisión del esfuerzo de apriete ejercido por los tirantes sobre la obra de chapa se efectúa por medio de elementos compactos que constan de dedos postizos. Esta solución permite compensar las irregularidades de apilamiento y repartir del mejor modo posible la presión de apriete. La solución no presenta los inconvenientes que se derivan de un apriete por medio de coronas continuas.

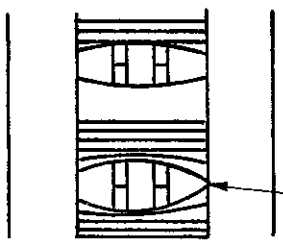
1.2.1.2 Estado

A pesar del diseño perfectamente correcto anteriormente mencionado, se comprueba un incorrecto apriete del circuito magnético.

Este apriete incorrecto ha dado lugar a una ondulación importante del circuito magnético.

Además, se comprueba una deformación de los dientes de las chapas del circuito magnético al nivel de las tomas de aire (respiraderos). Esta deformación se debe a un incorrecto posicionamiento de los separadores.

voir dessin sur texte français



deformación de las chapas del circuito magnético

Los defectos comprobados pueden tener al cabo de algún tiempo graves consecuencias. El incorrecto apriete de las chapas, unido a las deformaciones, puede ocasionar rupturas de dientes de las chapas del circuito magnético. Acto seguido, los trozos de chapa pueden perforar la aislación de devanado y ocasionar defectos de masa.

1.2.2 Devanado del estator

1.2.2.1 Diseño

El devanado del estator es un devanado del tipo de espiras. Cada devanado está formado por siete espiras, formadas a su vez por siete cobres elementales.

La aislación es del tipo micafolium asfaltado en continuo. La aislación de masa presenta un espesor de 5 mm aproximadamente y la aislación entre espiras un espesor de 0,5 mm aproximadamente.

El montaje se ha efectuado de forma perfectamente convencional.

Este tipo de devanado presenta, debido a su concepción, dos puntos débiles que han dado lugar en varias máquinas de Electricité de France (E.D.F.) a perforaciones con descarga disruptiva:

- La aislación de masa, de espesor adecuado, adhiera incorrectamente al haz de cobres. En las zonas del devanado sometidas a un voltaje importante se producen descargas eléctricas. Estas descargas dan lugar a una lenta degradación del muro aislante caracterizada por la formación de polvo blanco, que al cabo de algún tiempo, puede tener como resultado una perforación de la aislación de masa.

. Los devanados están formados por varias espiras, motivo por el cual el fenómeno anteriormente mencionado da lugar a una degradación de la aislación entre espiras.

El espesor de la aislación entre espiras es reducido y la aislación se perfora acarreando un defecto entre espiras. Se establece entonces una circulación de corriente al nivel del defecto y crea un calentamiento importante localizado. Este calentamiento carboniza lentamente la aislación de masa y lógicamente da lugar a defectos de masa.

1.2.2.2 Estado

El aspecto exterior del devanado es satisfactorio y no se observa ningún descenso del devanado.

El control de los calces de muescas efectuado por percusión, demuestra que las mismas siguen obteniendo un correcto bloqueo de los devanados en la muesca.

El zunchado de las cabezas de bobina entre sí se encuentra en estado satisfactorio. Por el contrario, los zunchos que permiten el apriete de las cabezas de bobinas sobre los aros de levantamiento superior e inferior se encuentran distensados.

Por el momento, este defecto no es inquietante debido a la flexibilidad de la aislación micafolium asfaltado.

1.2.3 Núcleos polares del rotor

1.2.3.1 Diseño

Los núcleos polares del rotor están formados por chapas bloqueadas entre dos extremos compactos.

Los núcleos están dotados de barrotes amortiguadores.

1.2.3.2 Estado

El aspecto de los núcleos polares es satisfactorio.

No se comprueba ningún vestigio de corrosión por fricción entre chapas ni ningún vestigio de calentamiento anormal de las extremidades polares.

El estado de los vástagos axiales de amortiguadores es perfectamente correcto. No existe ningún vestigio de electro-corrosión entre vástagos y núcleos polares.

1.2.4 Bobinas polares del rotor

1.2.4.1 Diseño

Las espiras se han realizado por medio de cobres enrollados sobre su canto.

La aislación de masa queda soportada por el núcleo polar. Esta técnica de aislación introduce un punto débil al nivel de las discontinuidades de la aislación.

El diseño de las conexiones entre bobinas polares parece correcto. Las conexiones son directas, alternadamente lado expansión polar y lado llanta. Además, estas conexiones se han obtenido por medio de laminillas métalicas que presentan una correcta flexibilidad y permiten la libre dilatación de los cobres.

La fijación radial del devanado sobre el núcleo se obtiene por un sistema de resortes.

La fijación tangencial se obtiene por un calce de compensación.

1.2.4.2 Estado

El estado de los devanados polares es satisfactorio. La conexión de las espiras es correcta y no se observa ninguna reptación de los aislantes entre espiras.

El estado de los marcos aislantes y metálicos es satisfactorio. El número de resortes es suficiente, por lo cual no se observa ninguna flecha anormal.

El comportamiento de las conexiones entre devanados polares y las conexiones de salida hacia los aros es satisfactorio.

1.2.5 Resumen de los puntos débiles del generador nº 4

Los principales puntos débiles comprobados en este generador son los siguientes:

- apriete incorrecto del circuito magnético del estator;
- deformación de los dientes de las chapas del circuito magnético al nivel de las tomas de aire (respiraderos);
- riesgo de degradación de la aislación entre espiras y de la aislación de masa del devanado del estator por descargas parciales.

1.3 Peritaje de un devanado de estator

No se ha tomado ningún devanado en los generadores en servicio.

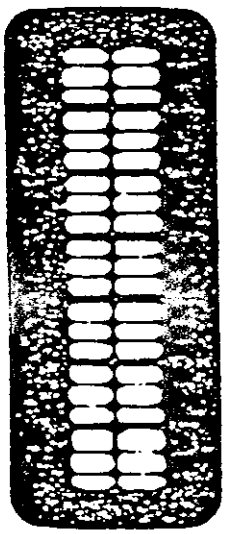
En cambio, se ha procedido al examen del interior de una bobina de diseño idéntico, desarmada en el momento del rebobinado de los generadores

1.3.1 Diseño

Un devanado de estator está formado por siete espiras compuestas, cada una, de seis cobres elementales.

La aislación de masa es de tipo continuo micagolium asfaltado.

Las aislaciones entre espiras y entre cobres se obtienen por medio de mica y de asfalto.



Sección de un devanado (escala 1)

1.3.2 Comprobaciones efectuadas

. Aislación de masa

No se observa ninguna perforación de las piezas de mica. Las distintas capas de mica se encuentran perfectamente adheridas entre sí. Por el contrario, la adherencia con el haz de cobre es incorrecta. No obstante, no se observa ningún vestigio de polvo blanco, lo cual permite suponer que el devanado examinado se encontraba situado en una zona de bajo voltaje.

. Aislación entre espiras

No se observa ninguna perforación de las piezas de mica. La adherencia de la aislación entre espiras es correcta.

. Aislación de los cobres

Un elemento de cobre de cada dos se encuentra aislado. La aislación de encuentra en un estado relativamente satisfactorio.

1.4 Examen del informe de pruebas efectuadas en una porción de devanado del generador nº 3

Se han llevado a cabo pruebas en una porción de devanado del generador nº 3 en 1981. Este devanado había sido objeto de un defecto que ha ocasionado una carbonización de la aislación y una fúsion de los elementos de cobre.

En la fotografía adjunta al informe de pruebas, se comprueba que la aislación de masa sa ha podido retirar del haz de cobre sin encontrarse demasiado degradada. Ello demuestra que su adherencia al haz de elementos de cobre era sumamente incorrecta.

La presencia de importantes vestigios de polvo blanco son el testimonio de una degradación de los aislantes por descargas parciales.

Cabe pensar que el proceso que ha conducido al incidente es el siguiente:

- Las descargas parciales han degradado la aislación de masa y la aislación entre espiras.

- Al ser poco gruesa la aislación entre espiras, su degradación ha sido aquí más rápida.

- Una circulación de la corriente entre espiras se ha producido acto seguido, acarreando un calentamiento anormal de los elementos de cobre.

- Este calentamiento anormal de los elementos de cobre ha venido a carbonizar la aislación de masa y conducida a la perforación por descarga disruptiva con fusión de los elementos de cobre.

1.5 Conclusión del informe de las pruebas efectuadas por la D.T.G.

Las pruebas efectuadas por la D.T.G. , y fundamentalmente la medición de los niveles de descargas parciales, vienen a confirmar las comprobaciones efectuadas con motivo del

peritaje de un devanado estatórico y el examen del informe de pruebas realizado en una porción del generador nº 3 en 1981.

Los niveles de ionización son, en su conjunto, bastante elevados y particularmente preocupantes en el caso de la máquina nº 3. Los distintos métodos de investigación (medición cuadrática de cresta, tgδ) muestran que nos encontramos aquí en presencia de descargas parciales internas, de fuerte energía, que son sumamente nocivas para la aislación.

Estas descargas parciales se encuentran localizadas en el muro aislante y al nivel de la interfase cobre/aislante (desprendimientos locales) (Véase Anexo 2).

1.6 Acciones que cabe emprender

1.6.1 Acción inmediata

Las comprobaciones efectuadas muestran que se pueden presentar numerosos defectos en la operación debido a la degradación de los aislantes del devanado estatórico con motivo de descargas parciales.

Las descargas parciales aparecen en las zonas del devanado sometidas a un voltaje importante. Debido a ello, la parte del devanado situada por el lado de la fase se degrada y, por el contrario, la parte del devanado situada por el lado neutro no se ve sometida a esfuerzos eléctricos y no se degrada por motivo de la acción de las descargas parciales.

La duración útil del devanado se podría aumentar permutando las salidas lado fase y las salidas lado neutro.

Este paliativo permite, a cambio de gastos reducidos, prolongar ligeramente la duración de los generadores, pero nunca más de 25 años. No obstante, permitiría alcanzar sin preocupaciones el momento de la renovación para cada uno de los grupos. Todo ello se funda en las siguientes consideraciones :

En funcionamiento, las descargas parciales aparecen en las zonas de bobinados sometidas a un elevado gradiente de potencial. Cuando estas descargas son de alto grado de energía, acarrean una degradación del muro aislante (formación de polvo blanco). Por consiguiente :

. el lado fase se degrada electricamente

. el lado neutro no se degrada electricamente

Al proceder a la prueba de medición de las descargas parciales, el conjunto del bobinado se eleva a la misma diferencia de potencial. Puede ocurrir que el nivel de descargas medido lado neutro sea equivalente o superior al nivel de descargas medido por el lado fase. Ello indica entonces que el muro aislante no es compacto o adhiere mal al cobre por el lado neutro. No obstante, esta parte del bobinado no se encuentra sometida en funccionamiento a una elevada diferencia de potencial, motivo por el cual no se produce ningún ataque del muro aislante por las descargas. La permutación de las salidas por el lado de la red y lado neutro permite detener la degradación del muro aislante que se encontraba antes de la permutación por el lado correspondiente a la red. La parte del bobinado que pasa por el lado de la red, y que hasta entonces no ha quedado degradado electricamente habrá que degradarse a su vez. Pero, dado que esta degradación tiene lugar en una parte del bobinado, que hasta entonces se ha visto poco solicitada electricamente, cabe esperar que la duración útil de la maquina quede así aumentada. El logro de la operación no se puede garantizar, de todo modo, en caso de inexistencia de informaciones más detalladas (resultados de las pruebas en alta tensión continua por exemplo).

1.6.2 Acciones a proyectar

1.6.2.1 Estator

La medida conservatoria anteriormente aconsejada no puede, por sí sola, permitir obtener una correcta fiabilidad de los generadores.

Esta fiabilidad únicamente se puede obtener por la reconstrucción del estator: el devanado y el circuito magnético se deberán sustituir.

Un rebobinado sin sustitución del circuito magnético sería siempre una mala solución.

Efectivamente, el circuito magnético presenta por su parte defectos que justifican su sustitución.

Además, un rebobinado sin sustitución del circuito magnético presenta varios inconvenientes:

- Los devanados modernos se realizan por medio de aislaciones termoestables, de mayor fiabilidad eléctrica, pero menos flexibles y menos gruesos que los aislamientos micafolium asfaltado. Estos devanados se deben montar de forma sumamente cuidadosa en las muescas perfectamente calibradas, cosa que no ocurre así al tratarse de los circuitos magnéticos antiguos.

- Un generador cuyo rebobinado se haya efectuado sin sustitución del circuito magnético, constituye un conjunto heterogéneo cuyos fallos futuros podrán frecuentemente tener por origen el elemento más antiguo, es decir, el circuito magnético.

  Una estadística efectuada en 1972 relativa a 47 generadores del servicio de la producción hidráulica de Electricité de France E.D.F.), que fueron rebobinados sin cambio de circuito magnético ha demostrado que 12 de los mismos han dado lugar a uno o más incidentes (22 incidentes en total). Estas averías han acarreado 8.600 horas de indisponibilidad, cuyo costo es superior al precio del cambio de los 47 circuitos magnéticos correspondientes.

  La misma estadística ha permitido demostrar que los defectos han aparecido dentro de un plazo inferior a 10 años y que se han manifestado por aflojamientos del circuito magnético, acarreando así rupturas de dientes y, por consiguiente, daños en la aislación.

  Los generadores rebobinados con cambio de circuito magnético no han dado lugar, por su parte, a ningún género de averías.

  La esperanza de duración sin incidentes para estas máquinas es, de por lo menos, 30 años, ya que las mismas se pueden comparar con equipos nuevos.

- Un rebobinado sin sustitución del circuito magnético no permite al reparador volver a calcular totalmente la máquina y, por consiguiente, aplicar técnicas y equipos modernos.

Por el contrario, en el caso de la reconstrucción del circuito magnético, un reparador perfectamente al tanto del problema puede de este modo:

a) modificar el número de muescas:

b) disminuir el total de las pérdidas:

. utilizando chapas magnéticas de pérdida reducida

. por reducción del entrehierro

. por relleno de la muesca de forma más racional.

1.6.2.2 Rotor

Las comprobaciones efectuadas en el rotor demuestran que, si no se desean mejorar las prestaciones de los generadores, no será preciso contemplar una intervención en este rotor.

1.6.3 Conclusión

Como conclusión, y habida cuenta del mal estado del circuito magnético y de las cansideraciones que preceden, parece preciso tener en cuenta el rebobinado de las cuatro máquinas de la usina GABRIEL TERRA conjuntamente con la reconstrucción de los circuitos magnéticos.

2. GENERADORES: EXAMEN DE LAS POSIBILIDADES DE SOBREPOTENCIA

2.1 Pruebas de calentamiento

2.1.1 Prueba de calentamiento en condiciones nominales (véase informe D.T.G.)

Condiciones de prueba;

Estator: P = 30,4 MW, U = 14,1 kV, I = 1.296 A

$\cos\varphi = 0,95$

Rotor: U = 202 V

ig = 667 A

En estas condiciones:

- el calentamiento del estator es de 69ºC con respecto a un agua a una temperatura de 20ºC;

- el calentamiento del rotor es de 52ºC con relación a un agua a una temperatura de 20ºC.

2.1.2 Prueba de calentamiento en sobrecarga (véase informe D.T.G.)

Condiciones de la prueba:

Estator: P = 35 MW, U = 14,4 kV, I = 1.476 A

$\cos \varphi = 0,95$

Rotor: U = 236 V

ig = 738 A

En estas condiciones:

- el calentamiento del estator es de 78ºC, con respecto a un agua a una temperatura de 20ºC;

- el calentamiento del rotor es de 68ºC, con relación a un agua a una temperatura de 20ºC.

Un incremento de potencia de un 15% se refleja por un sobrecalentamiento del rotor de 16ºC y del estator de 9ºC.

2.2 Disposiciones a considerar para obtener la sobrepotencia

2.2.1 Estator

Es preciso proceder a una reconstrucción del circuito magnético y del devanado del estator para obtener una correcta fiabilidad.

En estas condiciones, parece deseable aprevechar esta reconstrucción para volver a calcular en su totalidad el estator y obtener la sobrepotencia requerida.

Habida cuenta de los resultados de las pruebas de calentamiento y de las modificaciones brindadas por una reconstrucción del estator, parece posible diseñar un estator que permita obtener, por lo menos, una potencia de 40 MW - Cosφ = 0,95, o sea 42,1 MVA.

2.2.2 Rotor

Para obtener la sobrepotencia requerida, es preciso, al nivel del rotor, aumentar el número de amperios-vuelta, es decir, aumentar la intensidad en los devanados del rotor actuales o modificar estos devanados del rotor aumentando el número de espiras de cada devanado.

- Aumento de la intensidad en los devanados actuales del rotor

Las pruebas efectuadas demuestran que, para:

- P = 30 MW Cosφ = 0,95 el calentamiento del rotor es de 52ºC, con relación a un agua a 20ºC

- P = 35 MW Cosφ = 0,95 el calentamiento del rotor es de 68ºC en relación con un agua a una temperatura de 20ºC.

El paso de 30 MW a 35 MW se refleja por un incremento del calentamiento del rotor de 16ºC.

La intervención con destino a obtener un nuevo aislamiento de los devanados del rotor por medio de materiales aislantes modernos permite admitir, para los rotores, temperaturas de funcionamiento de 120ºC lo cual corresponde a un calentamiento del rotor de 100ºC con respecto a un agua a una temperatura de 20ºC.

El margen de calentamiento restante a partir de 35 MW es de 32ºC.

El nuevo aislamiento de los rotores de la usina GABRIEL TERRA y la modificación del sistema de excitación deberían permitir, a pesar de los fenómenos de saturación, admitir la intensidad de excitación necesaria para una potencia P = 40 MW Cosφ = 0,95 sin sobrepasar los límites de calentamiento.

Aumento del número de espiras de cada devanado

Si la solución precedente se manifiesta insuficiente o bien, si el objetivo de potencia fuese más elevado, sería necesario tener en cuenta:

. la sustitución de las excitatrices actuales por un sistema estático que produzca la intensidad deseada;

. la reconstrucción de las bobinas polares, por aumento del número de espiras.

La reconstrucción del estator y el nuevo aislamiento de los devanados polares del rotor debería permitir obtener una potencia P = 40 MW Cos φ = 0,95.

Un estudio de mayor envergadura permitiría determinar de forma precisa los calentamientos realmente obtenidos para un punto semejante de funcionamiento, o bien, para otro punto de funcionamiento (potencia más elevada).

3. TRANSFORMADORES

3.1 Características

Cada grupo está dotado de tres transformadores monofásicos.

Las características principales de los transformadores de grupo son las siguientes:

Lado alta tensión:

U línea (V)	U devanado (V)	I (A)
173.300	100.070	109,9
169.200		
165.000	95.300	115,4
160.900		
156.800	90.540	121,5

Lado tensión media:

U (V)	I (A)
13.800	797

dieléctrico: 15.700 litros de aceite

pesos:	partes activas:		17.000 kg
	cuba	:	6.350 kg
	aceite	:	5.150 kg
	peso total	:	28.500 kg

Transformadores de la unidad 1:

fecha de puesta en funcionamiento: 1947

fecha de renovación de la carga de aceite: 1978

Transformadores de la unidad 3 :

fecha de puesta en funcionamiento : 1948

fecha de secado de las partes activas : fase B: 1968
fase C: 1975

fecha de cambio de la carga de aceite : 1978

Nota de enero 1985 : U.T.E. a cambiado este transformador durante el transcurso de los meses de octubre y noviembre 1984.

Transformadores de la unidad 4:

fecha de puesta en funcionamiento: 1948

fecha de secado de las partes activas: 1969

fecha de cambio de la carga de aceite: 1978

3.2 Diseño

Los transformadores son de tipo acorazado.

Algunos aparatos de este tipo, en funcionamiento en el servicio de la producción hidráulica de Electricité de France (E.D.F.), han acusado un defecto por motivo de un descenso de cartones aislantes hacia el fondo de la cuba.

Efectivamente, estos cartones aislantes quedan mantenidos por el apriete del devanado. En ciertos aparatos, el adelgazamiento de los materiales acarrea un aflojamiento y una caída de los cartones aislantes. De ello se deriva, en ciertos casos una descarga disruptiva entre espiras.

Para detectar este tipo de puntos débiles es preciso proceder a una inspección del aparato tras vaciado de la carga de aceite, cosa que no se ha podido efectuar en la usina GABRIEL TERRA.

3.3 Comprobaciones

3.3.1 Inspección

No se ha podido proceder a ninguna inspección de aparatos y por consiguiente, resulta imposible emitir una opinión acerca del estado del calado del transformador.

3.3.2 Análisis cromatográfico de los gases disueltos en el aceite

El análisis de los gases disueltos en el aceite permite conocer el estado de las partes activas del transformador y detectar los defectos que pueden existir en el mismo. En el Anexo 5 figura descrito un resumen histórico del método. Se han efectuado tomas de muestra en los doce transformadores monofásicos de la usina.

Se ha investigado la presencia de 13 gases: hidrógeno (H_2), oxígeno (O_2), nitrógeno (N_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), etano (C_2H_6), etileno (C_2H_4), acetileno (C_2H_2), propano (C_3H_8), propeno (C_3H_6), propino y propadieno (C_3H_4).

Las concentraciones encontradas en un aparato en buen estado son inferiores a los valores siguientes (indicados en micromol/litro):

$H_2 < 4$

$O_2 < 400$

$N_2 < 3.000$

$CO < 35$

$CO_2 < 170 + 3t$, t significa la edad del transformador

$CH_4 < 5$

$C_2H_6 < 5$

$C_2H_4 < 3$

$C_2H_2 < 0,05$

$C_3H_8 < 7$

$C_3H_6 < 5$

$C_3H_4 < 0,05$

Estos valores corresponden a transformadores que no dan lugar a dudas de ningún género. La tabla de la página 21 indica otra serie de valores por debajo de los cuales el aparato aún siendo dudoso, se puede mantener en operación.

Para interpretar los resultados de las mediciones, será preciso examinar los valores de las concentraciones de cada gas, así como los valores de las relaciones de concentración de ciertos gases

$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$, $\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$, $\frac{C_3H_6}{C_3H_8}$ ...). Esta interpretación únicamente se puede efectuar por parte de especialistas.

No obstante, se pueden descifrar de forma aproximada, los resultados de análisis y hacerse una idea respecto al estado del aparato, de la forma siguiente:

- presencia de aire:

  La presencia de aire ($O_2 > 400$; $N_2 > 3.000$) no es peligrosa de por sí. No obstante, si las concentraciones medidas son muy superiores a estos valores, puede existir un riesgo de formación de burbujas de aire. En este caso será preciso encontrar las causas de entrada de aire.

  Las concentraciones en O_2 y N_2 de los 12 aparatos de la usina Gabriel Terra (véanse tablas en anexo), a pesar de ser superiores para algunos de ellos respecto a los valores normales, no son por ello inquietantes.

- presencia de acetileno:

  La presencia de acetileno ($C_2H_2 > 0,05$) es perfectamente característica de un defecto eléctrico que genera descargas de elevadas energías. Para precisar el origen del defecto, será preciso examinar las concentraciones de los demás hidrocarburos y del mono y dióxido de carbono.

  Las concentraciones en C_2H_2 de los 12 aparatos de Gabriel Terra son perfectamente normales.

- presencia de etileno (C_2H_4) sin acetileno (C_2H_2):

  La presencia de etileno refleja la existencia de un punto caliente. El examen de las concentraciones en CO y CO_2, permite entonces si se encuentra alterado un aislamiento de papel.

  Las concentraciones en C_2H_4 de los 12 aparatos de Gabriel Terra son normales.

VALORES NORMALES PARA EL CONTENIDO
EN GAS DE LOS ACEITES PROCEDENTES DE TRANSFORMADORES
EN BUEN ESTADO, OPERADOS POR EL S.P.H.

(Valores sobrepasados por 15% aproximadamente de los transformadores en buen estado).

Gas	Símbolo	Límite máximo de los valores normales en micromol/litro	Observaciones
Hidrógeno	H_2		Demasiado sujeto a las condiciones de toma de muestras y de transporte. Cualquier valor > 4 es anormal.
Oxígeno	O_2	400	Poco peligroso
Nitrógeno	N_2	3000	Poco peligroso
Oxido de carbono	CO	35	o si $\frac{\angle\bar{CO}\bar{/}}{\angle\bar{CO_2}\bar{/}} > 0{,}12$
Dióxido de carbono	CO_2	200 si $t \leqslant 10$ años $170 + 3t$ si $t > 10$ años	según t (años) = edad del transformador
Metano	CH_4	10	Dudas si $\left[\bar{CH_4}\right] \geqslant 5$
Etano	C_2H_6	10	Dudas si $\left[\bar{C_2H_6}\right] \geqslant 5$
Propano	C_3H_8	15	Dudas si $\left[\bar{C_3H_8}\right] \geqslant 7$
Etileno	C_2H_4	5	Dudas si $\left[\bar{C_2H_4}\right] \geqslant 3$
Propeno	C_3H_6	8	Dudas si $\left[\bar{C_3H_6}\right] \geqslant 5$
Acetileno	C_2H_2	0,15	Dudas si $\left[\bar{C_2H_2}\right] \geqslant 0{,}05$
Propadieno	C_3H_4 [1)]	0,15	Dudas si $\left[\bar{C_3H_4}\right] \geqslant 0{,}05$
Propino	C_3H_4 [2)]	0,15	

$\angle\bar{a}\bar{/}$ = Concentración gas a

- presencia de etano (C_2H_6) y de propano (C_3H_8)

  La presencia de etano y de propano indica la existencia de descargas parciales. El análisis de la presencia de otro gas y de la relación de concentración permite saber si estas descargas son frecuentes y apreciar su energía.

  El transformador de la fase B del grupo 2 acusa descargas parciales.

3.4 Acciones a emprender

Los resultados de análisis cromatográficos son satisfactorios para el conjunto de los aparatos.

Unicamente la fase A del transformador 2 acusa un ligero efecto térmico y la fase B del transformador 2 acusa también pequeñas descargas parciales. Por el momento estos fenómenos no presentan ninguna gravedad.

No obstante, sería interesante seguir su evolución en el tiempo.

También sería deseable comprobar el correcto estado del calado de estos transformadores, sometiendo a inspección uno de los mismos tras vaciado del aceite.

TRANSFORMADORES

- Análisis cromatográfico -

	T1			T2			T3			T4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
H_2	< 0,1	0,12	< 0,1	1,2	0,79	0,1	< 0,1	0,14	< 0,1	< 0,1	< 0,1	trazas
O_2	1 300	1 200	1 300	460	190	1 000	1 100	1 100	1 300	1 300	1 400	1 400
N_2	3 000	3 000	2 900	3 300	3 300	2 700	2 700	2 800	2 700	2 700	2 800	3 000
CO	< 30	trazas	< 30	30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	trazas
CO_2	260	320	120	530	78	190	240	150	110	72	66	300
METANO	0,25	1,5	0,39	0,69	17	1,1	0,15	0,23	0,12	0,12	0,07	0,37
ETANO	0,11	1,8	0,11	0,51	79	0,17	0,27	0,26	0,12	0,05	0,05	0,36
ETILENO	0,71	1,6	1,2	3,1	3,1	2	2,3	0,35	0,05	0,18	0,39	0,71
ACETIL	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
PROPANO	0,06	2,4	0,65	1,8	110	0,86	2,3	0,88	0,12	0,06	0,4	1,5
PROPENO	0,23	2,2	0,53	6,5	11	1,2	2,8	1,1	0,24	0,13	0,2	1,3
PROPADIENO	< 0,02	0,03	trazas	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
PROPINO	< 0,02	[illegible]	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02